

PERANCANGAN SKENARIO KEBIJAKAN PERENCANAAN KAPASITAS TERPASANG PADA INDUSTRI SEMEN DENGAN BERBASIS MODEL SISTEM DINAMIK

Erma Suryani

Program Studi Sistem Infomasi,
Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS, Jl. Raya ITS , Sukolilo - Surabaya 60011, Telp. +62 31 5939214, Fax +62 31 5913804
E-mail: erma@ its-sby.edu

ABSTRAK

Semen merupakan produk strategis bagi setiap negara terutama bagi negara-negara yang sedang membangun karena perannya yang sangat vital sebagai komponen penunjang dalam pembangunan perumahan, gedung-gedung, sarana transportasi, dan konstruksi fisik lainnya. Hal ini menyebabkan permintaan akan semen dapat dijadikan sebagai salah satu tolak ukur dalam pelaksanaan pembangunan pada suatu negara.

Sejalan dengan meningkatnya industri semen yang sangat besar pada tahun 2000 tidak didukung oleh kemampuan daya serap di pasar. Turunnya kemampuan pasar terjadi sejak krisis ekonomi pada tahun 1997 yang mempengaruhi sektor pembangunan sehingga berpengaruh langsung terhadap permintaan semen, hal ini terlihat dari turunnya permintaan semen yang sangat tajam dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya.

Pada makalah ini digunakan model sistem dinamik sebagai penghampiran permasalahan secara menyeluruh sehingga diperoleh beberapa skenario kebijakan yang dapat memberikan beberapa alternatif kebijakan yang dapat membantu pembuat keputusan dalam merencanakan produksi berdasarkan kebutuhan dan perencanaan kapasitas terpasang.

Kata Kunci: Sistem, Model, Simulasi, Skenario, Validasi, Permintaan, Kapasitas Terpasang

1. PENDAHULUAN

Data yang diperoleh dari Depperindang mengungkapkan bahwa industri semen nasional kelebihan stok sekitar 15,7 juta ton, namun kesulitan untuk dilempar ke pasar ekspor karena keterbatasan fasilitas pelabuhan. Kelebihan pasok tersebut bila dibandingkan dengan kapasitas terpasang industri semen nasional-yang mencapai 47,3 juta ton per tahun-memang relatif kecil. Sebenarnya, kelebihan pasok itu bisa diekspor karena permintaan di pasar dunia cukup besar. Sayangnya, untuk menggenjot ekspor masih sulit karena terhambat fasilitas pelabuhan yang terbatas. Indonesia merupakan salah satu produsen semen terbesar di Asean. Tahun lalu produksi semen di dalam negeri mencapai 47,3 juta ton, namun daya serap domestik hanya 67% dari total produksi tersebut atau sekitar 31,7 juta ton. Kelebihan pasok semen tersebut antara lain disebabkan kurangnya fasilitas pelabuhan, sementara penetrasi pasar baru di luar negeri tidak sesuai dengan harapan pemerintah. Produsen semen Indonesia sekarang tidak bisa mengandalkan pasar Asean dan Asia karena tingkat kompetisi antar produsen di negara-negara itu sangat ketat, sementara daya serap pasarnya terbatas. Menurut data AFCM,

produksi semen di Asean pada tahun lalu mencapai 173 juta ton dari total kapasitas terpasang sebesar 242 juta ton per tahun. Sedangkan kebutuhan pasar Asean diperkirakan hanya 140 juta ton per tahun. Namun demikian, pasar dunia masih cukup prospektif karena dari total produksi semen dunia yang memiliki kapasitas terpasang 1,8 miliar ton per tahun, alokasi produksinya kini baru mencapai 1,5 miliar ton, sedangkan penyerapan pasarnya baru 1,46 miliar ton. Industri semen nasional mempunyai peluang besar menguasai pasar ekspor, karena selain memiliki mutu bagus, penawaran harga semen Indonesia cukup kompetitif dibandingkan dari negara lain. Harga semen di Filipina mencapai US\$70 per ton. Sedangkan semen Indonesia hanya US\$50 per ton karena ongkos produksinya lebih efisien. Dari uraian diatas, maka permasalahan yang dihadapi diantaranya adalah:

1. Bagaimana merancang model yang dapat meramalkan permintaan produk semen di masa mendatang.
2. Bagaimana merancang skenario terhadap kapasitas terpasang untuk memenuhi permintaan di masa mendatang.

2. MODEL SISTEM DINAMIK

Dalam melakukan telaah kebijakan, cara pandang menyeluruh atas realitas sistem yang menjadi titik tolak kebijakan yang perlu dilakukan. Sistem dinamik merupakan metodologi pemodelan sistem yang dikembangkan oleh Jay W. Forrester di MIT. Prinsip utama dari metode ini adalah umpan balik (close loop thinking) yang berupa pengiriman dan pengembalian informasi. Adapun tujuan dari pendekatan sistem dinamik adalah memahami perilaku sistem. Dalam kasus industri semen, permasalahan yang mendasar adalah tidak terserapnya produksi semen oleh pasar domestik karena kondisi resesi ekonomi sehingga permintaan akan semen juga berkurang.

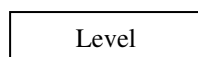
Berbagai skenario kebijakan industri semen perlu dikembangkan dalam hal mana pengetrapannya harus bertitik tolak pada realitas sistem yang ada. Oleh karenanya skenario sebaiknya diturunkan atas dasar realitas yang mungkin berubah.

Penghampiran Sistem Dinamik atas model permasalahan kebijakan di industri semen dimungkinkan untuk mengakomodasikan maksud-maksud tersebut diatas. Dengan demikian dapat diperoleh informasi yang lengkap atas permasalahan industri semen nasional sehingga arah kebijakan yang diambil tepat menuju pada pencapaian tujuan jangka panjang. Dalam metodologi pemodelan sistem dinamik, terdapat 6 tahapan pengembangan model yaitu:

1. Identifikasi dan definisi masalah
2. Konseptualisasi sistem
3. Formulasi Model
4. Simulasi dan validasi model
5. Analisa dan perbaikan kebijakan
6. Implementasi Kebijakan

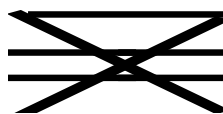
Beberapa variabel model sistem dinamik diantaranya sebagai berikut:

1. Level : akumulasi aliran dari waktu ke waktu
Simbol diagram simulasi variabel level dapat dilihat pada gambar 1



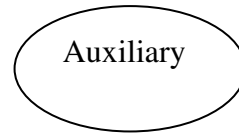
Gambar 1. Variabel Level

2. Rate : akumulasi aliran dari waktu ke waktu
Simbol diagram simulasi variabel rate dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Variabel Rate

3. Auxiliary : variable bantu
Simbol diagram simulasi variabel auxiliary dapat dilihat pada gambar 3



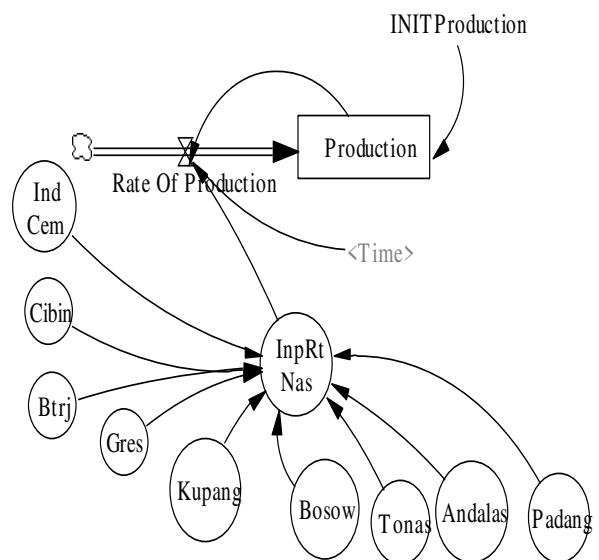
Gambar 3. Variabel Auxiliary

3. PENGEMBANGAN MODEL

Berangkat dari ruang lingkup permasalahan yang ada dalam industri semen nasional yang menyangkut perencanaan produksi dan kapasitas terpasang maka disusun beberapa sub model diantaranya yaitu:

Sub Model Produksi

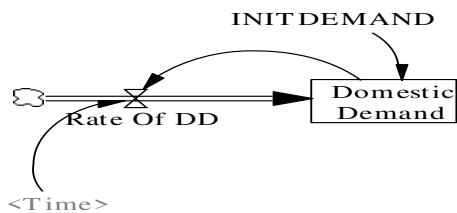
Produksi semen nasional dihasilkan oleh 9 pabrik semen yaitu : PT. Semen Andalas Indonesia, PT. Semen Padang, PT. Semen Baturaja, PT. Indocement, PT. Semen Cibinong, PT. Semen Gresik, PT. Semen Tonasa, PT. Semen Bosowa Maros dan PT. Semen Kupang. Laju produksi tiap tahun untuk tahun 1992 – 1997 adalah sebesar 9%, 1998 turun sebesar 18%, 1999 - 2001 naik dengan laju 11,7%, 2002 – 2005 naik dengan laju 6,2%.



Gambar 4. Diagram Simulasi Produksi

Sub Model Kebutuhan

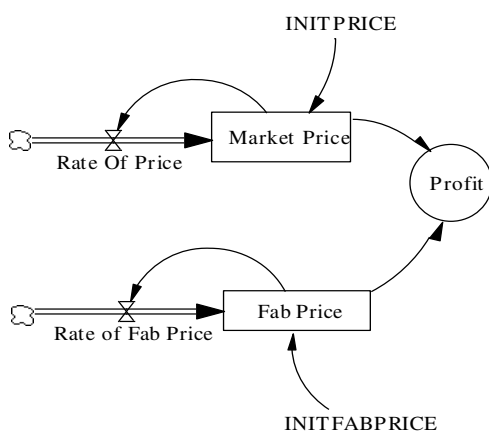
Kebutuhan akan komoditi semen meningkat dengan rata-rata 6,8 % per tahun, kecuali di tahun 1998 dan 1999 yang mengalami penurunan sebesar 30% akibat krisis moneter.



Gambar 5. Diagram Simulasi Kebutuhan

Sub Model Harga

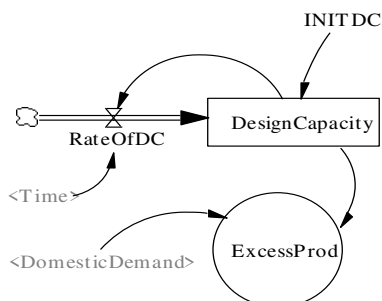
Semen diprioritaskan untuk kebutuhan domestik karena produknya berat, harga tidak terlalu tinggi, dan biaya distribusi tinggi. Pasar semen merupakan oligopoli artinya sedikit produsen dengan banyak pembeli.



Gambar 6. Diagram Simulasi Harga

Sub Model Kapasitas Terpasang

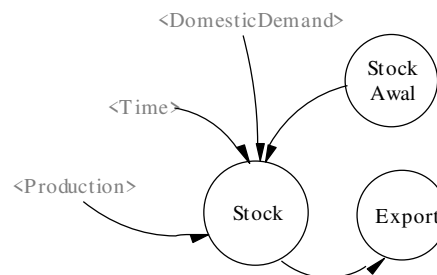
Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan semen, maka perlu juga adanya peningkatan kapasitas terpasang. Namun demikian peningkatan kapasitas terpasang ini tidak diimbangi dengan peningkatan kebutuhan domestik yang berarti, sehingga jika diproduksi sesuai dengan kapasitas terpasang, maka akan terdapat kelebihan produksi semen.



Gambar 7. Diagram Simulasi Kapasitas Terpasang

Sub Model Stok

Pada kenyataannya tidak semua pabrik semen memproduksi sebesar kapasitas terpasang, supaya tidak terjadi kelebihan produksi, karena semen tidak bisa disimpan terlalu lama. Dengan kondisi ekonomi saat ini, tetap saja terjadi kelebihan produksi yang dikenal sebagai stok.



Gambar 8. Diagram Simulasi Stok

4. SIMULASI MODEL

Simulasi awal dilakukan dalam horizon waktu selama 14 tahun, yaitu mulai tahun 1992 s/d 2005, sedangkan pada tahap skenarioisasi horizon waktu diperpanjang sampai dengan tahun 2020. Penetapan horizon waktu tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa jika horizon waktu terlalu panjang, maka kemungkinan struktur model tidak relevan lagi karena dalam interval waktu tersebut dapat terjadi berbagai aktivitas yang berada di luar kontrol struktur model. Hasil simulasi awal ini selanjutnya akan dijadikan sebagai bahan validasi model.

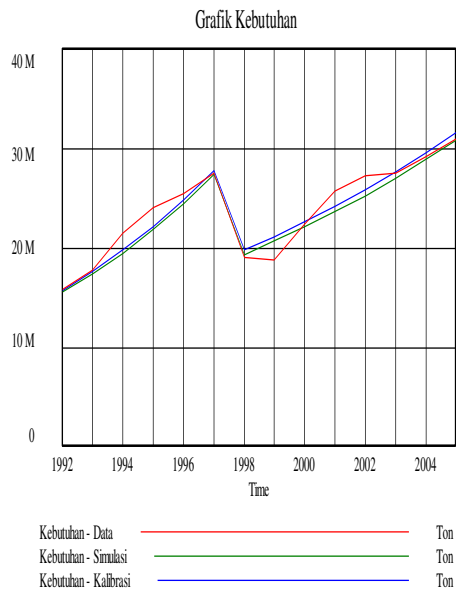
5. UJI COBA DAN ANALISA HASIL

Pada sub bab ini akan dijelaskan uji coba pada tiap sub model. Uji coba merupakan proses validasi terhadap model. Dari hasil simulasi awal menunjukkan bahwa terjadi perbedaan antara data aktual dengan data output simulasi awal. Agar model mendekati sistem nyata dan dapat merepresentasikan dengan baik sebelum digunakan, maka harus dilakukan validasi terhadap model. Validasi dilakukan dengan mengatur faktor koreksi tertentu untuk membandingkan output simulasi awal dengan data aktual sistem yang sering disebut kalibrasi.

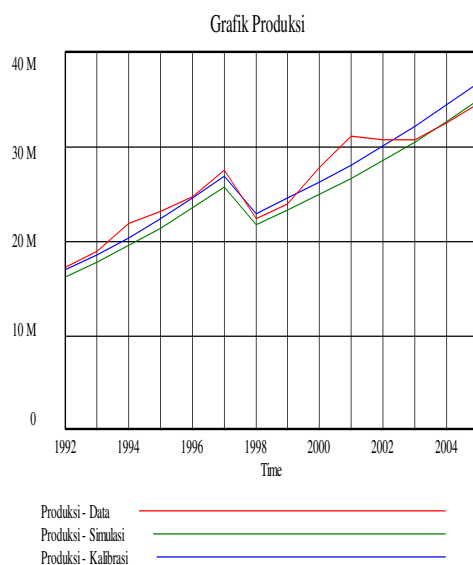
Proses kalibrasi dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan fasilitas optimasi dalam VENSIM. Faktor koreksi tertentu digunakan untuk memberi bobot terhadap variabel yang akan dikalibrasi. Bobot tersebut untuk setiap variabel didekati dengan menghitung percent error mean-nya (persen kesalahan rata-rata E1).

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{D}|}{\bar{D}}$$

\bar{S} = Nilai Rata-Rata Simulasi
 \bar{D} = Nilai Rata-Rata Data

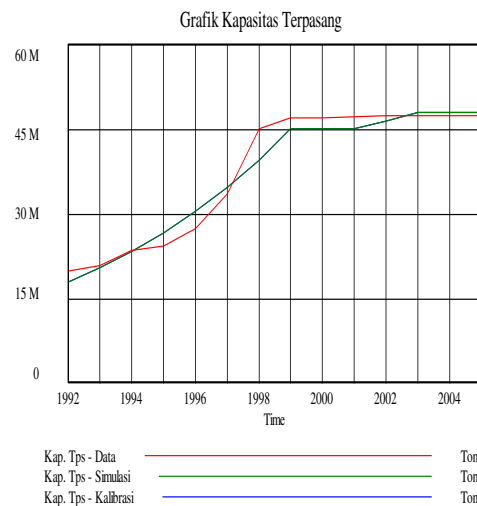
Hasil Simulasi Tiap Sub Model:**Sub Model Kebutuhan****Gambar 9. Grafik Kebutuhan**

Dari grafik dapat dilihat bahwa dari tahun 1992 s/d 1997 permintaan mengalami peningkatan, namun menurun drastis pada tahun 1998 karena dampak dari krisis ekonomi, sehingga permintaan terhadap komoditas semen juga menurun. Untuk tahun-tahun berikutnya permintaan mulai mengalami pertumbuhan dengan laju rata-rata 7 %.

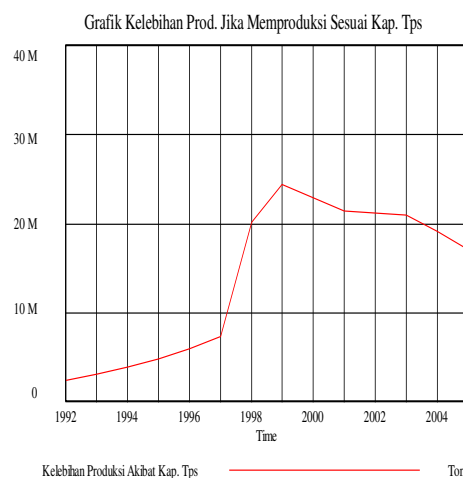
Sub Model Produksi**Gambar 10. Grafik Produksi**

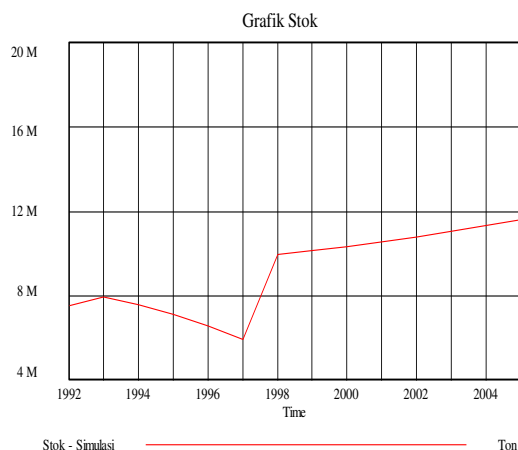
Sejalan dengan permintaan yang mengalami pertumbuhan untuk periode 1992 s/d 1997, maka produksi semen juga mengalami peningkatan.

Dengan menurunnya permintaan, seperti yang terjadi pada tahun 1998 maka produksi semen juga mengalami hal yang sama karena produk semen tidak bisa disimpan terlalu lama. Periode 1999 s/d sekarang, produksi kembali mengalami peningkatan karena permintaan juga bertambah.

Sub Model Kapasitas Terpasang**Gambar 11. Grafik Kapasitas Terpasang**

Peningkatan kebutuhan pada akhirnya juga memerlukan peningkatan kapasitas terpasang. Namun demikian peningkatan kapasitas terpasang ini tidak diimbangi dengan peningkatan kebutuhan domestik yang berarti, sehingga jika diproduksi sesuai dengan kapasitas terpasang, maka akan terdapat kelebihan produksi semen, seperti terlihat pada grafik berikut.

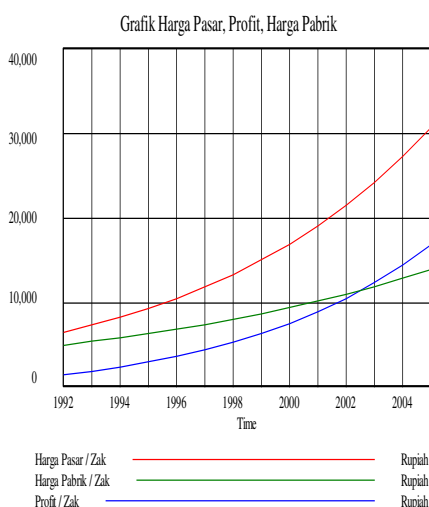
**Gambar 12. Grafik Kelebihan Produksi Jika Diproduksi Sesuai Kapasitas Terpasang****Sub Model Stok**



Gambar 13. Grafik Stok

Pada kenyataannya kebanyakan pabrik semen memproduksi tidak sama dengan kapasitas terpasang, karena dikhawatirkan terjadi over produksi (tidak semua produksi yang dihasilkan terserap oleh pasar). Kelebihan produksi ini dikenal sebagai stok yang belakangan ini mencapai belasan juta ton.

Sub Model Harga



Gambar 14. Grafik Harga Pasar, Harga Pabrik dan Profit

Dari grafik dapat dilihat bahwa harga semen di pasaran terus mengalami peningkatan dengan laju rata-rata 12,7%. Harga pabrik berada jauh dibawah harga pasar, sehingga komoditas ini dipandang cukup menguntungkan. Hal ini terlihat dari grafik profit yang pada tahun 2005 mencapai lebih kurang Rp. 13.900 per zak.

Validasi Model

Pada model ini digunakan 3 variabel yang digunakan sebagai validasi yaitu: kebutuhan domestic

(DomesticDemand), produksi (Production) dan kapasitas terpasang (DesignCapacity). Hasil simulasi, rata – rata data, dan nilai faktor koreksi (bobot) E1 terhadap ketiga variable tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Rata-Rata Simulasi, Data, dan Faktor Koreksi

Variabel	Rata-Rata Simulasi (Juta Ton)	Rata-Rata Data (Juta Ton)	E1
Kebutuhan	23,11	23,77	0.028
Produksi	24,79	26,21	0.054
Kap. Tps.	37,04	37,55	0.013

Langkah-Langkah Kalibrasi Model

1. Pendefinisian Payoffs
Payoffs didefinisikan sebagai suatu perbandingan variabel model dengan data aktual. Terdapat dua macam payoffs yaitu payoffs kalibrasi dan payoffs kebijakan. File payoffs kalibrasi berisi variabel-variabel yang dibandingkan dengan nilai bobotnya. File payoffs dapat dibuat langsung dalam program VENSIM atau dapat juga menggunakan text editor. Format file payoffs:
*Calibration
DomesticDemand / 0.028088
Production / 0.054282
DesignCapacity / 0.01345
2. Menentukan Parameter Adjustment
Beberapa parameter adjusment yang mempengaruhi model diantaranya adalah INITDEMAND, INITProduction, dan INITDC. Format file adjustment untuk beberapa parameter ini yaitu:
14000000<=INITDEMAND <= 16000000
15000000<=INITProduction <= 17000000
17500000 <= INITDC <=18000000
3. Kalibrasi
Setelah simulation control dialog dalam VENSIM dilengkapi dan dilakukan running untuk kalibrasi, maka akan diperoleh output kalibrasi sebagai berikut:
Initial point of search.
INITDEMAND = 1.5513e+007.
INITPRODUCTION = 1.62e+007.
INITDC = 1.8e+007.
Simulations = 1.
Pass = 0.
Payoff = -1.77581e+011.

Maximum payoff found at:.
INITDEMAND = 1.57565e+007.
INITPRODUCTION = 1.7e+007.
*INITDC = 1.78866e+007.

Simulations = 51.

Pass = 3.

Payoff = -1.06789e+011.

2005

Done, the cumulative payoff is -
105218505256.002200.

Dari hasil running kalibrasi terlihat bahwa VENSIM mendapatkan nilai baru pada ketiga variabel diatas.

4. *Adjustment Model dan Simulasi Ulang*
Selain memperoleh beberapa nilai parameter baru, VENSIM juga secara langsung melakukan simulasi ulang dengan menggunakan nilai parameter baru tersebut, sehingga diperoleh output model yang lebih mendekati sistem nyatanya. Setelah dilakukan proses kalibrasi, langkah selanjutnya adalah menguji secara statistik hasil simulasi model yang telah dikalibrasi. Yaman Barlas dalam jurnalnya yang berjudul "Multiple Test for Validation of Systems Dynamics Type of Simulation Model", menjelaskan cara pengujian perbandingan rata-rata E1 (mean comparison) dan perbandingan variasi amplitude E2 sbb:

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{D}|}{\bar{D}}$$

$$E2 = \frac{|\text{Std. Simulasi} - \text{Std. Data}|}{\text{Std. Deviasi Data}}$$

Model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$ dan $E2 \leq 30\%$

Hasil kedua uji dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Tes Validitas E1

Variabel	Run	Mean (Juta)	E1	Ket.
Kebutuhan	Data	23,77	0.009	Valid
	Model	23,56		
Produksi	Data	26,21	0.007	Valid
	Model	26,03		
Kap. Tps	Data	37,55	0.013	Valid
	Model	37,04		

Tabel 3 Tes Validitas E2

Variabel	Run	STD (Juta)	E2	Ket.
Kebutuhan	Data	46,43	0.012	Valid
	Model	45,86		
Produksi	Data	52,71	0.105	Valid
	Model	58,25		
Kap. Tps	Data	11,77	0.051	Valid
	Model			

	Model	11,18		
--	-------	-------	--	--

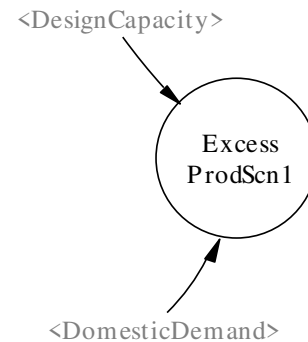
Dari tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa model dinamis telah berhasil mendekati perilaku sistem berdasarkan variabel-variabel diatas. Selanjutnya hasil kalibrasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menyusun kebijakan.

Skenarioisasi

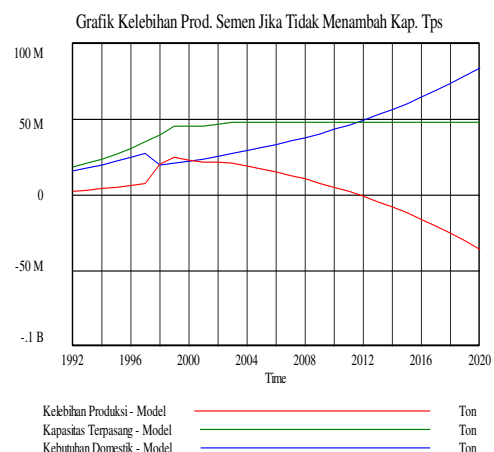
Setelah model yang dikembangkan dinyatakan cukup valid, langkah berikutnya adalah penyusunan skenario simulasi sesuai dengan skenario kebijakan yang akan diputuskan. Adapun *time frame* yang digunakan adalah sampai dengan tahun 2020.

Skenario 1:

Sebagai skenario 1 adalah skenario *existing condition*, yaitu tidak menambah kapasitas terpasang. Diagram simulasi skenario ini dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Diagram Simulasi Skenario 1



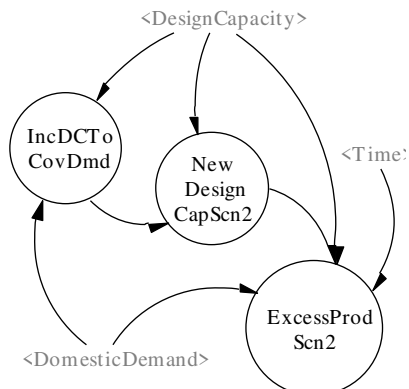
Gambar 16. Grafik Kelebihan Prod. Semen Jika Tidak Menambah Kap. Tps

Dari hasil simulasi ini dapat dilihat bahwa jika kita tidak menambah kapasitas terpasang, maka dengan kapasitas terpasang pada tahun 2005 sebesar 47,96 juta ton, pada tahun 2012 akan terjadi kekurangan produksi semen, karena kebutuhan semen pada saat

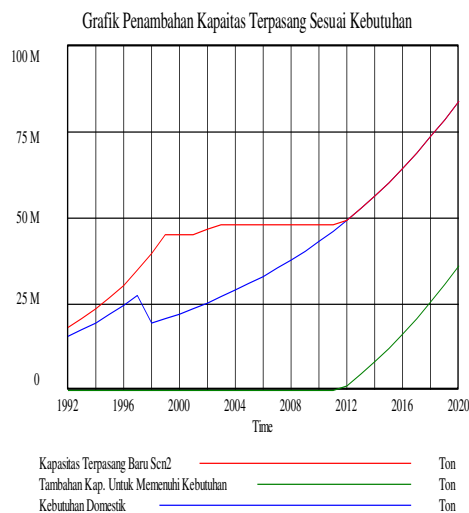
itu sudah mencapai 49,21 juta ton , sehingga pada tahun tersebut akan mengalami kekurangan sebesar $\pm 1, 25$ juta ton. Demikian juga pada tahun-tahun berikutnya akan terus mengalami kekurangan sampai mencapai $\pm 35,96$ juta ton di tahun 2020.

Skenario 2:

Sebagai skenario 2 adalah menambah kapasitas terpasang sesuai kebutuhan. Diagram simulasi skenario ini dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Diagram Simulasi Skenario 2



Gambar 18. Grafik Penambahan Kap. Tps Sesuai Kebutuhan

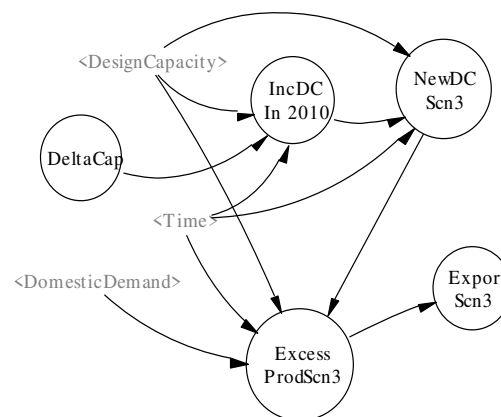
Dari grafik dapat dilihat bahwa penambahan kapasitas terpasang perlu dilakukan pada tahun 2012. Karena pada skenario ini penambahan kapasitas disesuaikan dengan kebutuhan domestik, tambahan kapasitas yang diperlukan pada tahun 2012 adalah sebesar 1,248 juta ton, sehingga kapasitas terpasang yang baru menjadi 49.21 juta ton. Kapsitas terpasang untuk tahun-tahun berikutnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Terpasang Untuk Memenuhi Kebutuhan

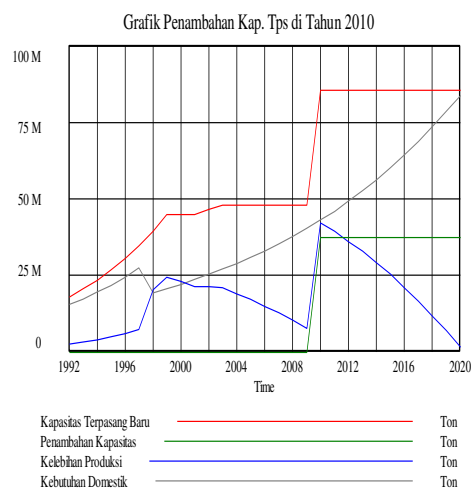
Tahun	Kapasitas Terpasang (Juta Ton)
2013	52,61
2014	56,24
2015	60,12
2016	64,27
2017	68,70
2018	73,45
2019	78,51
2020	83,93

Skenario 3:

Sebagai skenario 3 adalah menambah kapasitas terpasang di tahun 2010. Diagram simulasi skenario ini dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Diagram Simulasi skenario 3



Gambar 20. Grafik Penambahan Kap. Tps di Tahun 2010

Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan menambah kapasitas terpasang di tahun 2010, akan

terjadi lonjakan kapasitas untuk memenuhi kebutuhan sampai dengan tahun 2020. Penambahan kapasitas ini hanya dilakukan sekali di tahun 2010, sehingga kapasitas terpasang baru menjadi 85.38 juta ton untuk memenuhi kebutuhan di tahun 2020 yang mencapai 83,93 juta ton. Kelebihan produksi dapat diekspor ke beberapa negara seperti Bangladesh, New Zealand, Nigeria, Singapore, Vietnam, Africa dan beberapa negara lainnya.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan interpretasi hasil simulasi, maka beberapa hal penting yang dapat disimpulkan di antaranya adalah:

1. Kebutuhan (permintaan) komoditas semen akan mengalami peningkatan kurang lebih 7% per tahun kecuali di tahun 1998 dan 1999 yang mengalami penurunan sebesar 30% akibat krisis moneter.
2. Laju produksi tiap tahun untuk tahun 1992 s/d 1997 adalah sebesar 9%, 1998 turun sebesar 18%, 1999 s/d 2001 naik dengan laju 11,7%, 2002 s/d 2005 naik dengan laju 6,2%. Untuk tahun 2005 s/d 2020 akan terus mengalami peningkatan sebesar 7 % sejalan dengan meningkatnya permintaan.
3. Peningkatan kapasitas terpasang tidak diimbangi dengan peningkatan kebutuhan domestik yang berarti, sehingga jika diproduksi sesuai dengan kapasitas terpasang, maka akan terdapat kelebihan produksi semen yang akhir-akhir ini mencapai belasan juta ton.
4. Harga semen di pasaran terus mengalami peningkatan dengan laju rata-rata 12,7% per tahun. Sedangkan harga semen dari pabrik untuk tahun 2005 diperkirakan sekitar Rp. 14.000 (berada jauh dibawah harga pasar), sehingga profit tahun 2005 mencapai lebih kurang Rp. 13.900 per zak. Profit yang di dapat oleh pabrik semen mengalami peningkatan dengan laju rata-rata 16% per tahun.
5. Jika penambahan kapasitas terpasang dilakukan pada tahun 2010, akan terjadi lonjakan kapasitas pada saat itu, karena penambahan kapasitas terpasang dilakukan sekaligus untuk memenuhi

kebutuhan domestik sampai dengan tahun 2020. Besarnya kapasitas terpasang yang baru menjadi 85,38 juta ton untuk memenuhi kebutuhan di tahun 2020 yang mencapai 83,93 juta ton.

6. Agar tidak terjadi kelebihan produksi yang terlalu banyak, penambahan kapasitas terpasang dapat dilakukan dua kali yaitu di tahun 2010 dan 2015. Kapasitas terpasang pada tahun 2010 menjadi 65.13 juta ton. dan pada tahun 2015 menjadi 85.13 juta ton.

7. REKOMENDASI

Beberapa usulan yang dapat diusulkan dari hasil penelitian ini diantaranya adalah:

1. Agar tidak terjadi *over* produksi, sebaiknya penambahan kapasitas terpasang tidak dilakukan sekaligus tapi dilakukan secara berangsur seperti pada skenario 4, yaitu menambah kapasitas terpasang di tahun 2010 dan 2015.
2. Kelebihan produksi semen sebaiknya diekspor, apalagi dengan kondisi dolar yang terus meningkat nilainya terhadap rupiah sehingga keuntungan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menutup biaya produksi.

8. DAFTAR PUSTAKA

1. "Indonesia Cement Statistic", Indonesia Cement Association, 2003
2. Yaman Barlas "Multiple Test For Validation of Systems Dynamics Type of Simulation Models" European Journal of Operation 42, North Holland, 1999.
3. R. G. Coyle, " System Dynamics Modeling", Cranfield University.
4. Jay W Forrester," Industrial Dynamics", MIT Press. Cambridge.
5. Sushil, "System Dynamics: A Practical Approach for Managerial Problems", Wiley Eastern Limited.